Journal of KOSSE. (2020. 12) Vol. 16, No. 2 pp. 87-96
DOI: https://doi.org/10.14248/JKOSSE.2020.16.2.087
www.kosse.or.kr

ISSN (print) : 1738-480X
ISSN (online) : 2288-3592

연속형 시스템의 신뢰성 성장 관리 시험 설계 방안

서양우*, 윤정환, 이승상, 엄천섭
LIG넥스원 PGM IPS연구소

A Method of Reliability Growth Management Test Design for Continuous System

Yang Woo Seo*, Jung Hwan Yoon, Seung Sang Lee, Chun Sup Um
PGM IPS R&D Lab, LIG Nex1

Abstract : In this paper we proposed the test design method of reliability growth management. First, we presented the process for establishing the reliability growth management test design considering the number of failures and the termination test time. Reliability growth analysis of continuous system was performed in accordance with the test design process presented. In case the reliability test result is not met with the reliability target value after more than three failures occurred, the required test times were analyzed that 1,725 hrs for one corrective action, 1,950 hrs for two corrective actions. If the number of failures is less than three, design a reliability demonstration test according to confidence level 80% and 90% was performed using RGA 11 Software. As a result, it is possible to establish the reliability growth management test design with sufficient use of available resources. The results of this study can be used when establishing a test design for assessment of reliability growth management of all continuous systems.

Key Words : Reliability Growth Analysis, Reliability Growth Management, Test Design, Continuous System, Crow-AMSAA Model

Received: October 7, 2020 / **Revised**: November 9, 2020 / **Accepted**: December 15, 2020

* 교신저자 : Yang Woo Seo, yangwoo.seo2@lignex1.com

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non- commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited the original work is properly cited

1. 서 론

신뢰성 성장 관리란 계획된 신뢰도와 평가된 신뢰도를 상호 비교하여 자원재할당을 통해 신뢰성 확보를 위한 활동이다.[1] 신뢰성 성장 시험은 공식적인 신뢰성 보증 시험을 보완 및 대체하는 것으로 활용되었다.[2] 이는 시험을 통해 발견된 고장의 근본원인을 제거하는 개선활동을 수행함으로써 신뢰성 성장을 달성할 수 있다. 신뢰성 성장 관리는 시스템 엔지니어링 절차의 일부이며, 신뢰성 업무 수행 시 일정 및 비용에 관한 의사결정을 위한 정량적 수단을 제공한다.

시스템의 신뢰성에 영향을 주는 수명주기비용 및 전투준비태세를 개선할 수 있는 신뢰성 성장 관리 활동을 수행하는 사업이 소수에 불과하다. 방위사업 관리규정에도 신뢰성 성장 관리 업무가 포함되어 있지만, 비용 및 일정의 제약사항으로 인한 실제 적용은 매우 어려운 현실이다.

또한, MIL-HDBK-217F를 활용한 신뢰도 예측은 고장의 근본원인을 이해하지 못하고, 필드데이터만 사용하기 때문에 고장 예측에 있어서 부정확할 수 밖에 없다. 따라서, 보다 현실적인 신뢰성 평가를 위해서는 혁신적인 설계를 장려하는 신뢰성 성장 관리를 수행해야 한다. 신뢰성 성장 관리를 하는 주 목적은 신뢰성 프로그램 관리에 있어서 가장 효율적인 관리 도구이기 때문이다. 신뢰성 성장 관리는 계획 및 평가로 2가지로 구분되어진다.

신뢰성 성장 관리의 계획과 관련한 연구사례를 살펴보면, Seo et al.[3]는 연속형 시스템의 PM-2 Continuous 모델을 활용하여 신뢰도 성장 관리 계획을 제시하였고, Seo et al.[4]는 이산형 특성을 갖고 있는 원샷시스템의 PM-2 Discrete모델을 활용하여 신뢰도 성장 관리 계획을 제시하였다.

신뢰성 성장 관리의 평가와 관련한 연구사례를 살펴보면, Lee et al.[5]는 기동장비에 대한 개발시험 단계 시험 데이터로부터 신뢰도 값을 추정하였고, Kim et al.[6]은 신뢰도 예측 기반의 감시체계에 대한 신뢰도 성장 관리 분석을 수행하였다.

Chung et al.[7]은 K 계열 무기체계의 필드데이터를 활용하여 신뢰성 성장 모델에 적용하여 신뢰도를 추정하였고, Lee et al.[8]는 KA-1 항공기의 운용 자료로 Crow-AMSAA(Army Material Systems Analysis Activity) 및 Duane 모델을 활용하여 신뢰성 성장 분석을 수행하였다.

위 연구 사례들은 신뢰성 성장 관리 활동 수행에 있어서 데이터를 활용하여 추정한 신뢰도 성장 관리 결과만 제시할 뿐 신뢰성 성장 관리를 위한 시험 설계 방안은 제시하지 않고 있다. 또한, 신뢰성 성장 시험 중에 신뢰도 목표 값에 미충족할 시에 대한 대안을 언급하고 있지 않다. 즉, 신뢰성 성장 관리 활동 수행 시 초기에 정한 시험 종료시간이 도달하고 있는데, 신뢰도 목표 값에 충족하지 못할 때가 발생할 수 있다. 이러한 경우에는 시험대상 수 및 시험시간 등을 고려하여 시험 설계에 추가 반영할 필요가 있다. 신뢰성 성장 관리 평가 절차는 계획된 신뢰도에 대해서 추정한 신뢰도 값과 비교하여 계획된 신뢰도 목표 값에 만족하지 못하면, 설계 변경을 통해 시험을 수행한다는 간단한 프로세스만을 언급하고 있다.[1] 이를 통해서는 구체적인 시험 방안을 수립하기에는 한계가 있기 때문에 본 논문에서는 현실적으로 적용가능한 실제 시험을 수행할 수 있는 상세 시험 설계 방안을 제안한다. 즉, 신뢰도 목표 값에 충족할 수 있도록 자원 재할당을 통한 시험 설계를 재수립하여 진행해야 한다.

따라서, 본 논문에서는 연속형 시스템의 신뢰성 성장 관리의 시험 설계 방안을 제시한다. 우선, 신뢰성 성장 관리 시험 설계 수립 절차를 제시한 후, 연속형 시스템의 한정하여 사례분석을 수행한다. 또한, 시험 종료시점에서 신뢰성 성장 관리 결과 값이 목표 값에 미충족 되는 경우에 대한 시험 설계 대안 분석을 제시한다.

2. 본 론

2.1 RGA(Reliability Growth Analysis)의 데이터 유형 및 모델

신뢰성 성장 관리 분석 시 데이터 유형은 표 1과 같다.[1],[9]

2.1.1 데이터 유형

2.1.1.1 Time to Failure Data

고장 시간 데이터 유형은 정확한 수명을 기록한 경우에 사용된다. 이 데이터 유형은 단일시스템에서 데이터를 분석하거나 여러 시스템에서 결합된 시간을 분석하는데 사용된다.

2.1.1.2 Discrete Data

이산형 데이터는 시험에서 가능한 2가지 결과를 도출하는 원샷 시스템에 사용된다. 예를 들어, 한 번 발사되고 성공하거나 실패하는 미사일인 경우에 해당한다. 이러한 데이터 유형을 성공/실패 또는 속성 데이터라고 한다.

2.1.1.3 Multi-Phase Data

여러 단계 데이터 유형은 고장시점에 고장을 수정조치할 수 있으며, 이후 단계 또는 마지막 단계에서 수정조치되는 시험 상황을 분석하는데 사용된다.

<Table 1> Data Types for RGA Growth Analysis

Data Types	Data Sheets
Time to Failure	Failure Times
	Grouped Failure Times
	Multiple Systems - Known Operating Times
	Multiple Systems - Concurrent Operating Times
	Multiple Systems with Dates
	Multiple Systems with Event Codes
Discrete	Sequential
	Sequential with Mode
	Grouped per Configuration
	Mixed Data
	Multi-Phase Failure Times
Multi-Phase	Multi-Phase Grouped Failure Times
	Multi-Phase Mixed Data
Reliability	Reliability Data
Fielded	Repairable Systems
	Fleet

2.1.1.4 Reliability Data

신뢰도 데이터 유형은 시간과 신뢰도 사이의 관계를 모델링하는데 사용된다. Standard Gompertz, Modified Gompertz, Lloyd-Lipow 또는 Logistic 모델을 사용하여 신뢰성이 시간에 따라 어떻게 변화하는지 추적할 수 있다.

2.1.1.5 Field Data

필드 데이터 유형은 운용자 사용 환경에서 필드에서 운용하는 수리가능한 시스템의 데이터를 분석하는데 사용된다.

2.1.2 신뢰성 성장 모델

신뢰성 시험 전략에 따라 적용되는 신뢰성 성장 모델은 표 2와 같다. 시험 중 수정조치 방식에 따라 모델을 다르게 적용한다. Test-Fix-Test는 관찰기간동안 수정조치를 결정하면, 수정조치를 완료하고 설계수정사항이 통합된 시험을 실시하는 방법으로 적용모델은 Crow-AMSAA 등이 있다.

Test- Find-Test는 관찰기간이 종료될 때까지 수정조치를 보류하는 방법으로 적용모델은 Crow Extended 등이 있다. Test-Fix-Find-Test는 관찰기간동안 일부 수정조치를 수행하면서 다른 수정조치사항을 보류하는 방법으로 적용모델은 Crow Extended 등이 있다.

<Table 2> Applied Models of RGA Test Strategy

Test Strategy	Model
Test-Fix-Test	Crow-AMSAA(NHPP)
	Standard Gompertz
	Lloyd-Lipow
	Modified Gompertz
	Duane
	Logistic
Test-Find-Test	Crow Extended
	Crow Extended-Continuous Evaluation(multi-phase)
Test-Fix-Find-Test	Crow Extended
	Crow Extended-Continuous Evaluation(multi-phase)

2.1.2.1 Crow-AMSAA 모델

AMSAA 모델은 L. H. Crow가 Duane의 경험적 모형의 이론적 기초에 비동질적 포아송 과정을 추가한 확률 모형이다. 이 모델은 각 시험단계 내에서 신뢰성 성장 과정을 추적하는데 적합한 모델이다.

AMSAA 모델은 연속적인 고장 횟수가 기록되는 고장시간 및 고장시간의 구간을 알고 있을 때 적용된다. 이 때, Cramer von Mises 통계적 적합도 시험을 수행한다. 이를 통해, AMSAA 신뢰성 성장 모델이 적절한지를 판단할 수 있다. 성장률(α)은 α>0.5인 경우 상당히 큰 성장률, α<0.1인 경우 낮은 성장률을 의미한다.

AMSAA 모델의 순간 고장률(ρ)는 식(1)과 같다.

$$\rho(t) = \lambda \beta t^{\beta-1} \quad (1)$$

for λ, β, t >0

t ; cumulative test time

λ; scale parameter

β; shape parameter

순간 평균고장시간(m)은 시험 종료 시점의 현재 형상에서 시스템의 입증된 평균고장시간을 의미한다. 순간 평균고장시간(m)은 순간 고장률(ρ)의 역수로 나타날 낼 수 있으며, 식(2)와 같다.

$$m(t) = \frac{1}{\rho(t)} = (\alpha \beta t^{\beta-1})^{-1} \quad (2)$$

t ; cumulative test time

λ; scale parameter

β; shape parameter

척도모수 λ에 대한 척도모수의 추정치 $\hat{\lambda}$는 식(3)과 같다.

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{T^{\hat{\beta}}} \quad (3)$$

N ; cumulative number of failures

T ; total test time

$\hat{\beta}$; maximum likelihood estimates of β

형상모수 β에 대한 형상모수의 추정치 $\hat{\beta}$는 식(4)와 같다.

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N} \ln(\frac{T}{t_i})} \quad (4)$$

N ; total observed number of failures

T ; total test time

ti ; i-th test time

2.1.2.2 Crow Extended 모델

Crow Extended 모델은 보류된 수정조치를 근거로 시험 후 성장을 예측하는 모델이다. 이 모델은 시험 중에 수정조치 및 지연된 수정조치를 포함하는 유연한 성장 전략을 제공한다. 즉, test-find-test 및 test-fix-find-test 시험 전략 수행이 가능하다.

Crow Extended 모델을 사용하려면, 관찰된 각 고장의 원인이 되는 고장모드를 분류하고 식별해야 한다. 모드 분류는 A, BC 및 BD 모드로 구분된다. 모드 A는 어떠한 수정조치도 적용되지 않는 것, 모드 BC는 관측기간 동안 수정조치가 적용된 것, 모드 BD는 관찰기간이 지나도록 수정조치가 지연되는 것을 의미한다.

Crow Extended 모델의 매개변수인 β의 값이 β <1이면, 관찰기간동안 신뢰성이 향상되었음을 의미하고, β>1이면 신뢰성이 저하되었음을 의미한다. 성장률은 α로 표기되며, 1-β에 해당된다. α의 값이 양의 값이면, MTBF가 개선되고 있는 것으로 값이 클수록 성장이 더 빠름을 의미한다.

Crow Extended 모델의 고장률(λ_{EM})은 식(4)와 같다.

$$\lambda_{EM} = \lambda_{CA} - \lambda_{BD} + \sum_{i=1}^{K}(1-d_i)\lambda_i + \mu_d h(T \mid BD) \quad (4)$$

λ_{CA} ; the achieved failure intensity

λ_{BD} ; the constant failure intensity for the BD modes

d_i ; the effectiveness factor for the i-th BD modes

K ; the number of BD residing in the system

λ_i ; each BD mode initial failure rate

μ_d ; average effectiveness factor for the observed BD modes

h(T|BD) ; the first occurrence function for the BD modes

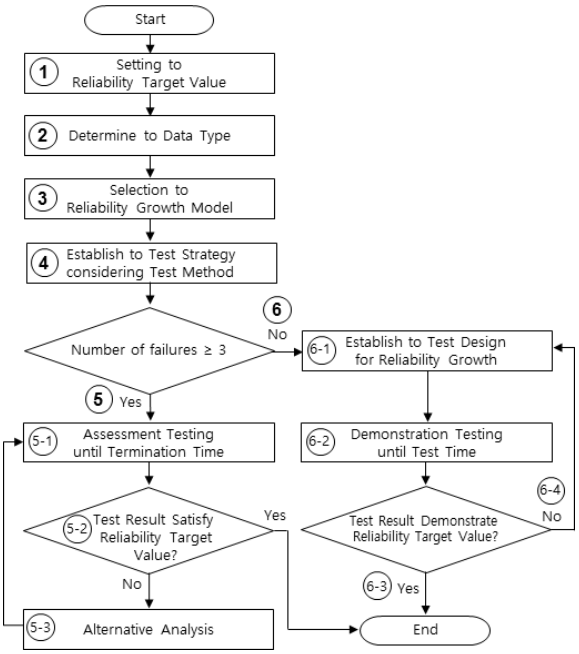
2.2 연속형 시스템의 신뢰성 성장 관리 시험 설계 절차 제시

현재 무기체계 대부분은 시간 기반으로 운용되는 장비이다. 이는 신뢰성 성장 관리 시험 수행 시 Time to Failure Data가 요구되는 연속형 시스템이다. 연속형 시스템의 신뢰성 성장 관리 시험 설계 절차 수립 시 고려해야 할 사항은 다음과 같다.

- Time to Failure Data 분석을 위한 최소 데이터 요구사항은 최소 3건으로 제시하고 있다.[9] 신뢰성 성장 관리 평가 결과 추정 시 최소 3건의 고장 데이터가 필요하다.
- 시험 종료시점에서 신뢰성 성장 관리 결과 값이 목표 값에 미충족 되는 경우가 발생할 수 있다.

따라서, 위의 고려사항을 반영하여 연속형 시스템의 신뢰성 성장 관리를 위한 시험 설계 절차를 그림 1과 같이 제시한다.

1) 신뢰도 목표 값을 설정한다.
2) 신뢰성 성장 분석을 위한 데이터 유형을 결정한다.
3) 데이터 유형에 따른 신뢰성 성장 모델을 선정한다.
4) 시험 방법을 고려한 시험 전략을 수립한다.
5) 고장 데이터 3건 이상인 경우
5-1) 시험 종료시간까지 신뢰성 성장 관리의 평가를 수행한다.
5-2) 신뢰도 목표 값에 시험결과가 만족하면, 신뢰성 성장 시험을 종료한다.
5-3) 신뢰도 목표 값에 시험결과가 불만족하면, 대안분석을 수행한다. 대안에 따라 시험 종료시간을 재설정하여 수행한다.



[Figure 1] Test Design Process of Reliability Growth Management for Continuous System

6) 고장 데이터 3건 미만인 경우
6-1) 신뢰성 성장 시험설계를 수립한다.
6-2) 시험설계에 따른 시험 시간까지 입증시험을 수행한다.
6-3) 신뢰도 목표 값에 시험결과가 입증되면, 신뢰성 성장 시험을 종료한다.
6-4) 신뢰도 목표 값에 시험결과가 미입증되면, 시험설계를 재수립하여 수행한다.

2.3 연속형 시스템의 신뢰성 성장 관리 사례 분석

신뢰도 목표 값 및 시험시간이 아래와 같이 설정된 연속형 시스템의 신뢰성 성장 관리 사례를 분석하였다.

- 신뢰도 목표 값 : MTBF(Mean Time Between Failure) 300시간 이상
- 시험 시간 : 1,500시간[10]

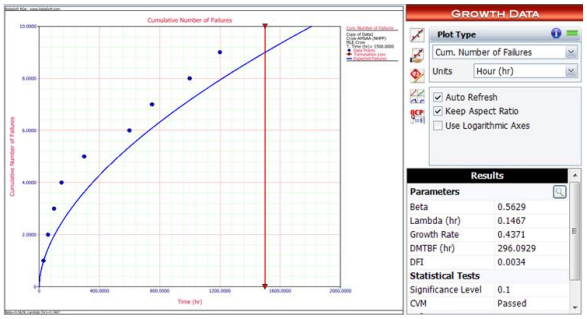
연속형 시스템의 시험 기간 중에 고장 데이터는 표 3과 같다. 단, 고장에 대한 수정조치활동은 즉시 수행하는 것으로 하였다. 고장 시점마다 수정조치활동을 수행하였기에 Crow-AMSAA 모델을 적용

하여 신뢰도 값을 산출하였다.

표 3의 데이터를 활용하여 Crow-AMSAA 모델의 모수에 대한 추정치를 산출하면 다음과 같다.

<Table 3> Time to Event of Continuous System

Data	Time to Event(hr)
1	30
2	60
3	100
4	150
5	300
6	600
7	750
8	1,000
9	1,200



[Figure 2] Cumulative Number of Failures and Analysis Results(Termination Time = 1,500 hrs)

$$\hat{\beta} = \frac{N}{\sum_{i=1}^{N} \ln(\frac{T}{t_i})} = \frac{9}{\sum_{i=1}^{9} \ln(\frac{1,500}{t_i})}$$

$$= 9 / [\ln(\frac{1,500}{30}) + \ln(\frac{1,500}{60}) + \ln(\frac{1,500}{100}) + \ln(\frac{1,500}{150}) + \ln(\frac{1,500}{300}) + \ln(\frac{1,500}{600}) + \ln(\frac{1,500}{750}) + \ln(\frac{1,500}{1,000}) + \ln(\frac{1,500}{1,200})]$$

$$= 9 / 15.98901861 = 0.5629$$

$$\hat{\lambda} = \frac{N}{T^{\hat{\beta}}} = \frac{9}{1,500^{0.5629}} = 0.1467$$

$$\alpha = 1 - \beta = 1 - 0.5629 = 0.4371$$

$$\hat{\rho} = \hat{\lambda}\hat{\beta}\, t^{\hat{\beta}-1}$$

$$= 0.1467 \times 0.5629 \times 1,500^{0.5629-1} = 0.0034$$

$$\hat{\theta} = \frac{1}{\hat{\rho}} = (\hat{\alpha}\,\hat{\beta}\, t^{\hat{\beta}-1})^{-1}$$

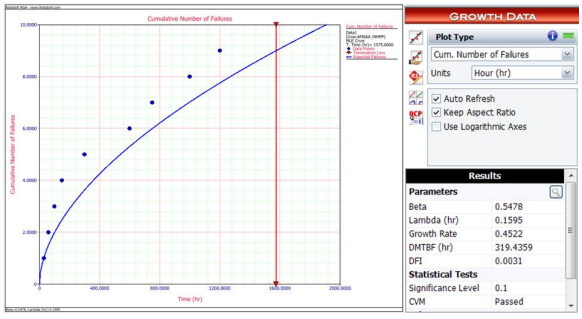
$$= \frac{1}{0.0034} = 296.0929$$

신뢰성 성장 관리[1] 규격을 반영한 RGA® 11 S/W를 활용하여 산출하여도 그림 2와 같이 결과값은 동일하다. 연속형 시스템의 1,200시간 시험동안 수정조치 활동을 9건을 수행하였으며, 이 때 입증된 MTBF는 296.0929시간이다. 이 결과는 이후 남은 300시간을 시험해도 신뢰도 목표 값 300시간 이상을 충족할 수 없는 상태이다. 따라서, 자원재할당을 통한 대안분석을 수행하여 시험 전략을 재수립한 후 시험을 재개해야 한다.

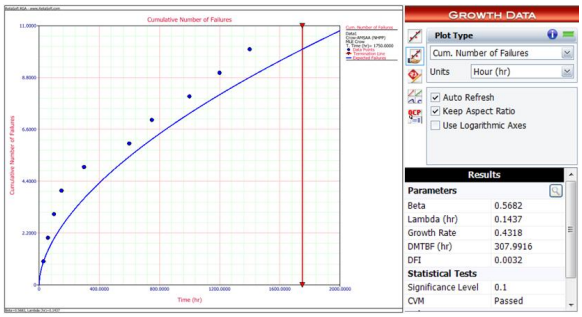
즉, 초기에 설정한 시험 종료시간 1,500시간을 기준으로 시험 중에 추가로 발생 가능한 수정조치 건을 고려하여 시험 종료시간을 재설정해야 한다. 시험 종료시간을 어느 정도 확보해야 하는 지를 확정해야 한다. 이에 따라, 초기 시험 종료시간(1,500시간)에서 이후 시험에서 수행되어질 수정조치 0~2건에 대한 시험 종료시간을 분석한 결과는 표 4와 같다.

<Table 4> Required Test Time to # of Corrective Action

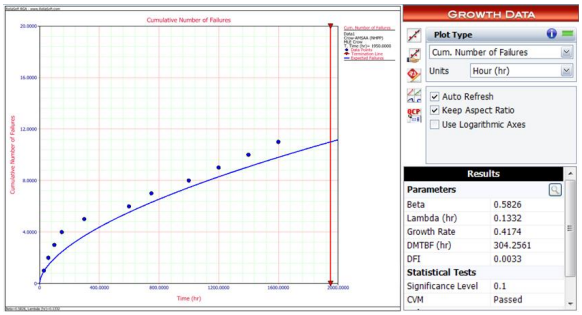
# of Corrective Actions	Required Test Time(hr)	Demonstrated MTBF(hr)
0	1,575	319.4356
1	1,750	307.9916
2	1,950	304.2561



[Figure 3] Cumulative Number of Failures and Analysis Results(Termination Time = 1,575 hrs, Corrective Action = 0)



[Figure 4] Cumulative Number of Failures and Analysis Results(Termination Time = 1,750 hrs, Corrective Action = 1)



[Figure 5] Cumulative Number of Failures and Analysis Results(Termination Time = 1,950 hrs, Corrective Action = 2)

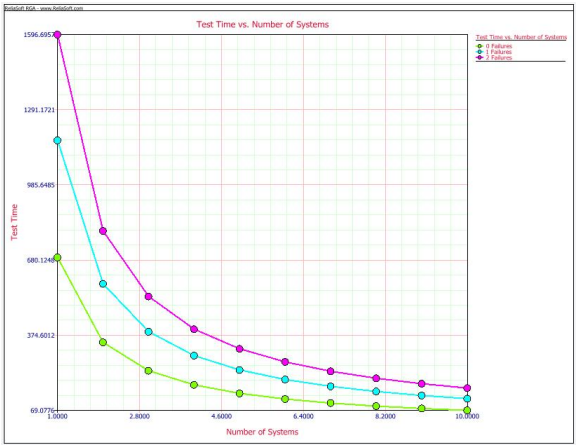
그림 3의 경우는 수정조치가 0건일 때, 추가로 요구되는 시험시간은 기존 대비 5% 증가된 1,575시간이 필요한 것으로 분석되었다. 즉, 1,575시간 시험동안 수정조치가 0건이면, 입증된 MTBF는 319.4356시간으로 신뢰도 목표 값 MTBF 300시간을 충족한다. 그림 4의 경우는 수정조치가 1건일 때, 추가로 요구되는 시험시간은 기존 대비 16% 증가된 1,725시간이 필요하다. 그림 5의 경우는 수정조치가 2건일 때 추가로 요구되는 시험시간은 기존 대비 30% 증가된 1,950시간이 필요하다. 따라서, 추가로 요구되는 시험시간에 따른 예상 수정조치 활동이 수행되는 조건이 만족되면, 신뢰도 목표 값에 충족되므로 시험을 종료할 수 있다.

한편, 신뢰성 성장 시험 수행 시 시험 종료시점까지 고장 데이터가 3건 미만이 발생할 수 있다. 즉, 수정조치 활동이 3번 이상 발생하지 않는 경우, 고장이 0~2건이 발생한 경우에 대한 신뢰성 성장 관리 시험 설계 수립 방안에 대해서 제시한다. 이 방안을 제시하는 이유는 신뢰성 성장 관리 평가를 수행 시 최소 3건의 데이터를 요구[9]하고 있기 때문이다. RGA® 11 SW는 고장 데이터 2건일 때는 MTBF 추정이 불가하며, 최소 3건의 고장이 발생해야 고장 추세를 분석할 수 있다. 따라서, 시험시간 동안 관찰된 고장 데이터가 3건 미만일 때 판정하는 방법을 RGA® 11 SW에서 제공하는 Test Design 기능을 활용하여 시험설계를 수행하였다.

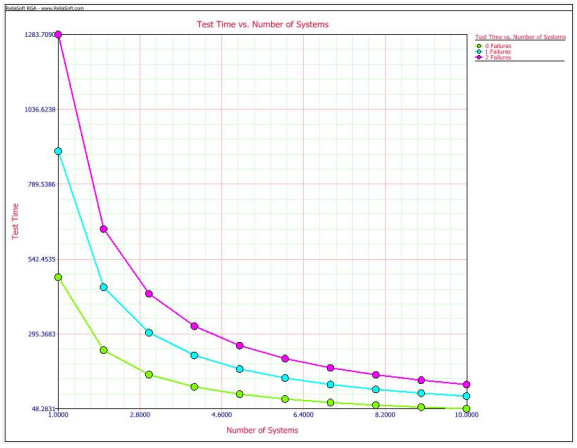
신뢰수준 90% 기준의 신뢰도 척도 MTBF 300시간을 입증하는 시험설계를 수행하면 표 5와 같다. 시스템 1대로 시험시간 690시간 동안 0건이 고장이 발생하면, MTBF 300 시간을 충족할 수 있다고 입증할 수 있다. 만약, 시스템 2대로 시험시간 583시간 동안 1건이 고장이 발생하면, MTBF 300 시간을 충족할 수 있다고 입증할 수 있다. 즉, 시스템 수를 2대 이상 시험에 활용하면, 시험시간을 2배 정도 감소시켜 시험을 진행할 수 있기 때문에 시험 시 제수를 초기에 반영하여 시험설계를 수립해야 한다. 그림 6은 MTBF 300시간을 입증하기 위한 신뢰수준 90%에서 고장 데이터 2건 이하 발생 시 요구되어지는 시험 시간 및 시스템의 수의 관계를 나타낸 그래프이다.

<Table 5> Design a Reliability Demonstration Test (Confidence Level 90%)

# of Systems	Test Time for 0 Failures	Test Time for 1 Failures	Test Time for 2 Failures
1	690	1,166	1,596
2	345	583	798
3	230	388	532
4	172	291	399
5	138	233	319
6	115	194	266
7	98	166	228
8	86	145	199
9	76	129	177
10	69	116	159



[Figure 6] Test Time vs. Number of Systems (Confidence Level 90%)



[Figure 7] Test Time vs. Number of Systems (Confidence Level 80%)

신뢰수준 80% 기준의 신뢰도 척도 MTBF 300시간을 입증하는 시험설계를 수행하면 표 6과 같다. 시스템 1대로 시험시간 482시간 동안 0건이 고장이 발생하면, MTBF 300시간을 충족할 수 있다고 입증할 수 있다. 시스템 수를 10대로 시험시간 89시간에 고장 데이터가 1건이면, 신뢰수준 80%의 MTBF 300시간을 충족할 수 있다고 입증할 수 있다.

그림 7은 MTBF 300시간을 입증하기 위한 신뢰수준 80%에서 고장 데이터 2건 이하 발생 시 요구되어지는 시험 시간 및 시스템의 수의 관계를 나타낸 그래프이다.

<Table 6> Design a Reliability Demonstration Test (Confidence Level 80%)

# of Systems	Test Time for 0 Failures	Test Time for 1 Failures	Test Time for 2 Failures
1	482	898	1,283
2	241	449	641
3	160	299	427
4	120	224	320
5	96	179	256
6	80	149	213
7	68	128	183
8	60	112	160
9	53	99	142
10	48	89	128

신뢰성 성장 관리의 평가는 기존의 신뢰성 프로그램과는 다르다. 첫째, 평가를 비교하는 보다 객관적으로 개발된 성장 표준이다. 둘째, 사용된 평가 방법은 현재 시스템 구성의 신뢰성에 대한 정확한 평가를 제공한다. 평가 결과는 사업관리자에게 지표를 제공하여 언제 수정조치를 수행해야 하는지 알 수 있다.

따라서, 신뢰성 성장 관리 평가를 통해 계획된 값과 비교하여 계획대로 진행되고 있는지 여부를 알 수 있다. 이에 따라, 진도가 제대로 진행되지 않으면 새로운 시험전략을 수립해야 한다. 이러한 전략으로는 식별된 문제 영역에서 자원의 재할당, 일정 조정 또는 요구사항의 유효성에 대한 재검토가 포함되어야 한다.

신뢰성 성장 관리 활동 수행의 이점은 다음과 같다.

- 예상치 못한 결함 식별
- 표면적인 문제를 통한 설계 개선 가능
- 최종 입증을 통해서 관련된 위험 감소
- 목표 달성 가능성 증가

신뢰성 성장 관리는 본 논문에서 제시한 신뢰성 성장 관리 시험 전략 수립 방안을 토대로 필요한 자원을 할당, 재분배함으로써 달성될 수 있다.

3. 결 론

신뢰성 성장 관리는 고장 모드 및 원인을 식별하여 그것을 제거 또는 완화시켜야 한다. 시험기간 동안 발생하는 수정조치 활동 없이 성장이 이루어지지 않는다. 이에 따라, 신뢰성 성장 관리 시험 설계 수립할 때 시험대상 시스템 수량 및 시험시간을 충분히 고려해야 한다.

본 논문에서는 고장 데이터 수 및 시험 종료시간을 고려한 연속형 시스템의 신뢰성 성장 관리를 위한 시험 설계 방안을 제시하였다. 첫째, 고장 데이터 3건 이상 및 미만인 경우와 둘째, 시험 종료시간에서 신뢰성 성장 결과 값이 신뢰도 목표 값에 미충족되는 경우에서의 시험 설계 및 대안분석을 제시하였다. 이 후, 제시한 신뢰성 성장 관리 시험 설계 절차에 따라 연속형 시스템의 사례분석을 수행하였다. 고장발생이 0~2건이 발생한 경우에 대한 신뢰성 성장 관리 시험 설계 수립방안은 시스템 1대로 시험시간 690시간 동안 0건이 고장이 발생하면, 신뢰수준 90%에서 MTBF 300 시간을 충족할 수 있다고 입증할 수 있었다. 고장발생이 3건 이상 발생한 후 시험 종료시간에서 신뢰성 성장 결과 값이 목표 값에 미충족되는 경우에 대한 대안분석 결과는 수정조치가 0건 일 때 시험시간은 1,575시간, 수정조치가 1건 일 때 시험시간은 1,725시간, 수정조치가 2건 일 때 시험시간은 1,950시간이 필요한 것으로 분석되었다. 따라서, 본 연구인 신뢰성 성장 관리 시험 설계 방안을 통해 설계 변경 비용 및 시험일정을 결정하는 기준으로 활용 가능하다.

본 논문에서 제시한 신뢰성 성장 관리의 시험 설계 방안은 사업관리자가 신뢰성 성장 관리 시험 우선순위를 결정하고, 자원을 할당하는데 유용하다. 본 연구는 모든 연속형 시스템의 신뢰성 성장 관리 시험 설계 수립 시 활용 가능할 것으로 사료된다.

References

1. MIL-HDBK-189C, Reliability Growth Management, Depart of Defense, p. 2, 10, 2011.
2. MacDiarmid, Preston R., and Morris, Seymour F., RADC-TR-84-20, Rome Air Development Center Air Force Systems Command Griffiss Air Force Base, NY 13441, Reliability Growth Testing Effectiveness, p. 1, 1984.
3. Seo, Y. W., Park, E. S., Kim, Y. K., Lee, K. Y., and Kim, M. S., Reliability Growth Planning for a Military System using PM2-Continuous Model, Journal of Applied Reliability, Vol. 18, No. 3, pp. 201-207, 2018.
4. Seo, Y. W., Jeon, D. J., Kim, S. J., and Kim, Y. G., A Study on the Establishment of Reliability Growth Planning for One-shot System, Journal of the Korean Society of Systems Engineering, Vol. 16, No. 1, pp. 1-8, 2020.
5. Lee, Y. J., Bae, G. B., Heo, Y. M., Seo, J. H., Kim, S. B., Choi, J. K., and Park, W. J., Reliability Growth Management for Armed Vehicle, Journal of Korean Society for Quality Management, Vol. 45, No. 4, pp. 981-994, 2017.
6. Kim, S. B., Park, W. J., You, J. W., Lee, J. K., and Yong, H. Y., Reliability Prediction Based Reliability Growth Management : Case Study of Surveillance System, Journal of the Korean Society for Quality Management Vol. 47, No.1 pp. 187-198, 2019.
7. Chung, I. H., Lee, H. Y., and Park, Y. I., Reliability Evaluation of Weapon System using Field Data : Focusing on Case Study of K-series Weapon System, Journal of Korean Society for Quality Management, Vol. 40, No. 3, pp. 278-285, 2012.
8. Lee, Y. E., Kim, G. Y., Lee, G. H., Kim, Y. H., and Jung, Y. M., Reliability Growth Analysis for KA-1 Aircraft based on Duane and

Crow-AMSAA Model, The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences Conference, pp. 871-874, 2010.
9. Reliability Growth Analysis 11 User's Guide, Reliasoft, HBM Prenscia INC, pp. 152, 351-354, 2017.
10. MIL-STD-1635, Reliability Growth Testing, Department of Defense, p. 152, 1978.